

Broborgs förglasade vall

PETER KRESTEN och LEIF KERO

Förglasade fornborgsvallar karakteriseras av en glasig, slaggliknande massa som sammanbinder stenmaterialet i vallen. Detta glas som kan identifieras med smält stenmaterial har bildats genom upphettning till höga temperaturer på platsen d v s ingen transport har förekommit.

Alltsedan den första beskrivningen av fenomenet på Torr Duin, Skottland, genom Pennant (1771) har förglasade fornborgsvallar tilldragit sig arkeologernas och geologernas intresse. För närvarande känner man till drygt 80 säkra samt ett 20-tal osäkra förglasade vallar i Skottland, ett 15-tal i övriga Britannien och på Irland, drygt 30 i Frankrike samt ett tiotal vardera i Tyskland och Tjeckoslovakien. I Sverige uppvisar vallarna till 13 fornborgar tecken på förglasning, men bara tre av dessa – Broborg i Uppland, Kollerborg i Närke och Norsborg i Värmland – kan betecknas som förglasade vallar enligt definitionen ovan. Övriga fornborgar har ströfynd av förglasat material.

Tillkomsten av förglasade fornborgsvallar har förklarats på skilda sätt, vilka redan formulerats på 1700-talet och som faller inom följande tre rubriker:

1. *Konstruktiv*, i bemärkelsen att förglasningen i princip använts som ett slags murbruk för att förstärka vallkonstruktionen. Ofta har det antagits att konstruktionen varit en byggnadsteknik typisk för kelter i allmänhet eller skottar i synnerhet. Som argument för teorin har anförts bl.a. de mycket höga temperaturer som varit nödvändiga och inte kunnat uppnås på annat sätt än genom användning av bläster, att ett selektivt urval av stenmaterial till vallarna skulle ha ägt rum, eller att glaset kan ha tillsatts flussmedel. Teorin har vunnit anhängare både bland arkeologer och geologer.

2. *Destruktiv*, att vallen eller borgen som sådan stuckits i brand av en fiende. Teorin har vunnit anhängare främst bland arkeologer, framför allt efter Childes och Thorneycrofts lyckade ex-

perimentmurar. Anhängarna till denna teori menar att experimenten bekräftat att en vall av *murus gallicus*-typ kan förglasas vid brand.

3. *Slumpmässig*, till exempel som biprodukt till metallutvinning eller metallsmältning, hanteringar som bevisligen förekommit på fornborgar i bland annat England och Wales. Andra förslag i denna kategori är vårdkasar som smälte kringliggande stenar, eller åsknedslag som satte en borgkonstruktion i brand.

Det enda man med bestämdhet kan säga är att förglasningen krävt mycket höga temperaturer. Nyligen utförda smältpunktsbestämningar på förglasat material gav temperaturer mellan 1080 och 1190°C för material från svenska borgar, och en något större variation, 1066 till 1235°C, för material från fornborgar i Skottland, Irland, Frankrike och Tyskland. Dessa bestämningar ger de minimala temperaturer som krävs för att smälta bergarterna eller bergartsglasen. Temperaturerna är jämförbara med och till och med överträffar sådana som uppnås i metallurgiska ugnar, exempelvis vid utvinning av koppar eller järn.

Broborg

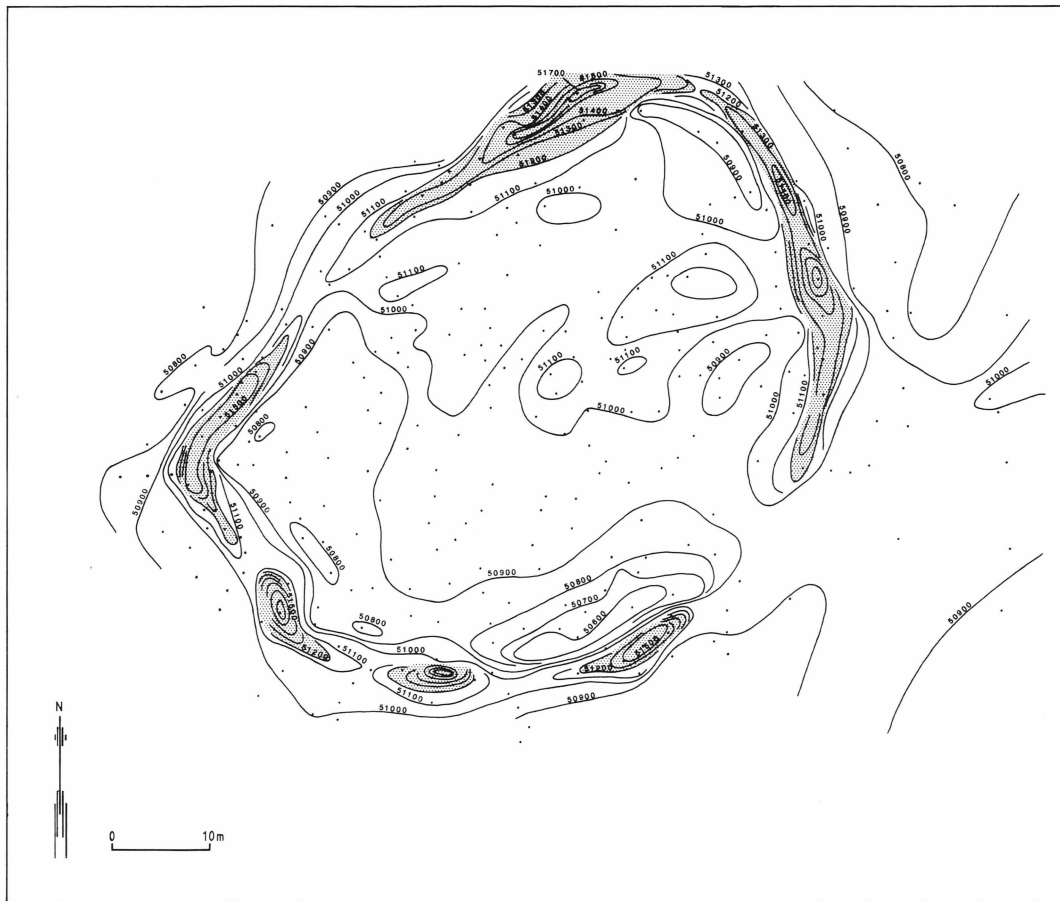
Broborg, vid Risberga i Husby-Långhundra socken, omkring 20 km sydost om Uppsala, ligger på toppen av en moränkulle som kontrollerar Långhundradelen. Nästan hela inre vallen uppvisar

förglasning (Figur 1) vilket gör borgen till en av de bäst bevarade "förglasade borgar" i Europa. Förglasningen uppträder uteslutande längs inre vallens inre murliv, med varierande avstånd från den yttre kallmuren (Figur 2). Förglasningen är mer eller mindre tydlig. Svart blåsrik smälta som runnit ner på skörbränd sten (Figur 3) förekommer överallt inom det förglasade området, om än sporadiskt. Mer vanligt är att den söndervittrade skörbrända gnejsgraniten ger vallen en jämn topografi (Figur 4).

Termoluminescensdatering av skörbränd gnejsgranit strax nedanför det förglasade skiktet gav åldern 740 ± 100 e. Kr., medan ett C-14 prov från ett stolphål gav åldern 446 e. Kr., vilket överensstämmer med fyndet av en glaspärla tillhörande perioden 400–575 e. Kr.

Geologiska observationer

Stenmaterialet i vallarna samt i borgens omgivning består huvudsakligen av två bergartstyper. Mest frekvent är en tämligen grov gnejsgranit, grå till gråröd med tydlig förskiffning, som består av mineralen kvarts, kalifältspat, plagioklas (kalkfältspat) och biotit (mörk glimmer). Dessutom förekommer amfibolit, en mörk, nästan svart, finkornig bergart som består av amfibol och plagioklas. I de förglasade partierna är gnejsgraniten oftast bara skörbränd, mer sällan glaserad av porslinsaktig vit smälta. Amfiboli-



Figur 1. Kartskiss över Broborg. 1 = ingång, 2 = bevarad kallmur, 3 = raserade partier av vallen, 4 = inre släntat murliv, 5 = förglasat material.

ten är helt eller delvis uppsmält till en gråsvart, mycket blåsrik smälta (Figur 3), som penetrerar och cementserar den skörbrända gnejsgraniten.

Resultaten av en blockräkning visas i Figur 5. Blocken har indelats i fyra storleksklasser efter genomsnittsdiameter: 1

= mindre än 20 cm, 2 = 20–50 cm, 3 = 50–100 cm, 4 = större än 100 cm. Omgivningen visar en relativt jämn fördelning av block mellan storleksklasserna. Nära (5–20 m) borgen har främst de två mindre gnejsgranitblocken minskat i frekvens, uppenbarligen genom att de



Figur 2. Nordvästsida av inre vallen på Broborg, visande den yttre kallmuren (vid d i Figur 1). Skalan är en meter.



Figur 3. Överytan av tranchén a-a' (Figur 1), med delvis smält amfibolit. Den svarta blåsrika smältan rinner ner och cementerar skörbrända block av gnejsgranit.

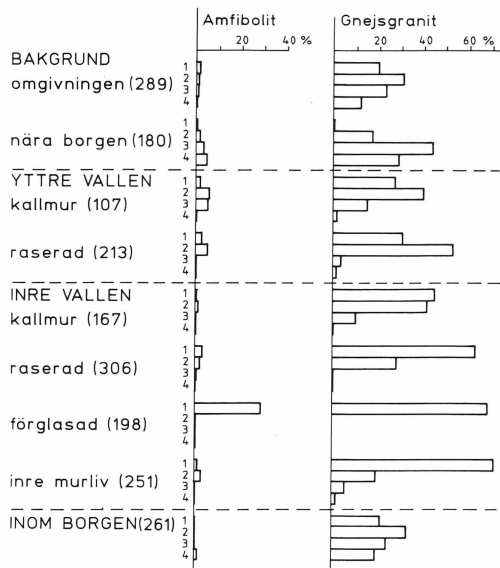


Figur 4. Västra delen av Broborgs förglasade vall (vid c i Figur 1), med block av förglasat material samt söndervittrad skörbränd gnejsgranit, vilket resulterar i en jämn topografi.

använts vid vallbyggnad. Detta visas av att dessa block finns i ökad frekvens i båda vallarna (Figur 5). Innanför borgen förekommer block av gnejsgranit i en frekvensfördelning snarlik omgivningens.

Amfibolitblock förekommer sparsamt. Större amfibolitblock finner man främst i direkt anslutning till vallarna d.v.s. nära borgen och innanför den. En utomordentlig hög frekvens av amfibolitblock tillhörande den minsta klassen finner man i de förglasade partier av

den inre vällen. Däremot uppvisar vallens icke förglasade delar normal till låg frekvens av amfibolit (Figur 5). Anrikningen av små amfibolitblock i de nu förglasade partierna pekar mot att en selektion av material ägt rum både vad gäller bergart och storlek. Det verkar troligt att dessa små block är att uppfatta som styckade större block, vilket vittas av raka "onaturliga" begränsningsytor. Som framhävts tidigare är amfiboliten den bergart som är en förutsättning för att förglasning av vällen



Figur 5. Histogram visande byggnadsmaterialet på Broborg. Blocken har indelats i fyra storleksklasser efter genomsnittsdiametern: 1 = mindre än 20 cm, 2 = 20–50 cm, 3 = 50–100 cm, 4 = större än 100 cm. Mest markant är anrikningen av amfibolit inom de förglasade partierna. Närvaron av amfibolit har varit helt avgörande för att förglasning kunnat ske.

kunnat ske. Blockräkningen stöder tolkningen att den förglasade vallen är konstruktiv.

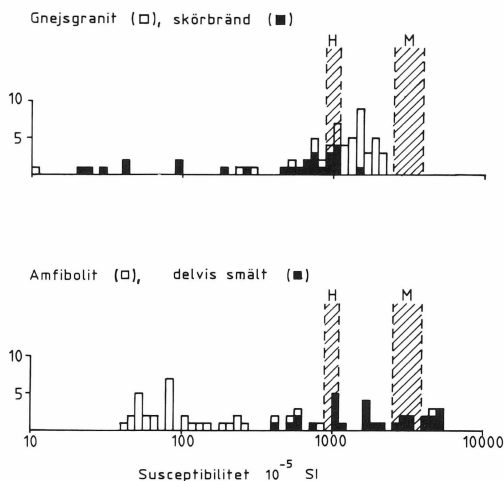
Geofysiska undersökningar

Bergarters innehåll av magnetiska mineral bestämmer susceptibiliteten (magnetiserbarheten) som kan mätas med en hälsusceptibilitetsmätare. Magnetithalter på bråkdelar av en procent kan enkelt spåras med denna mätare. Suscepti-

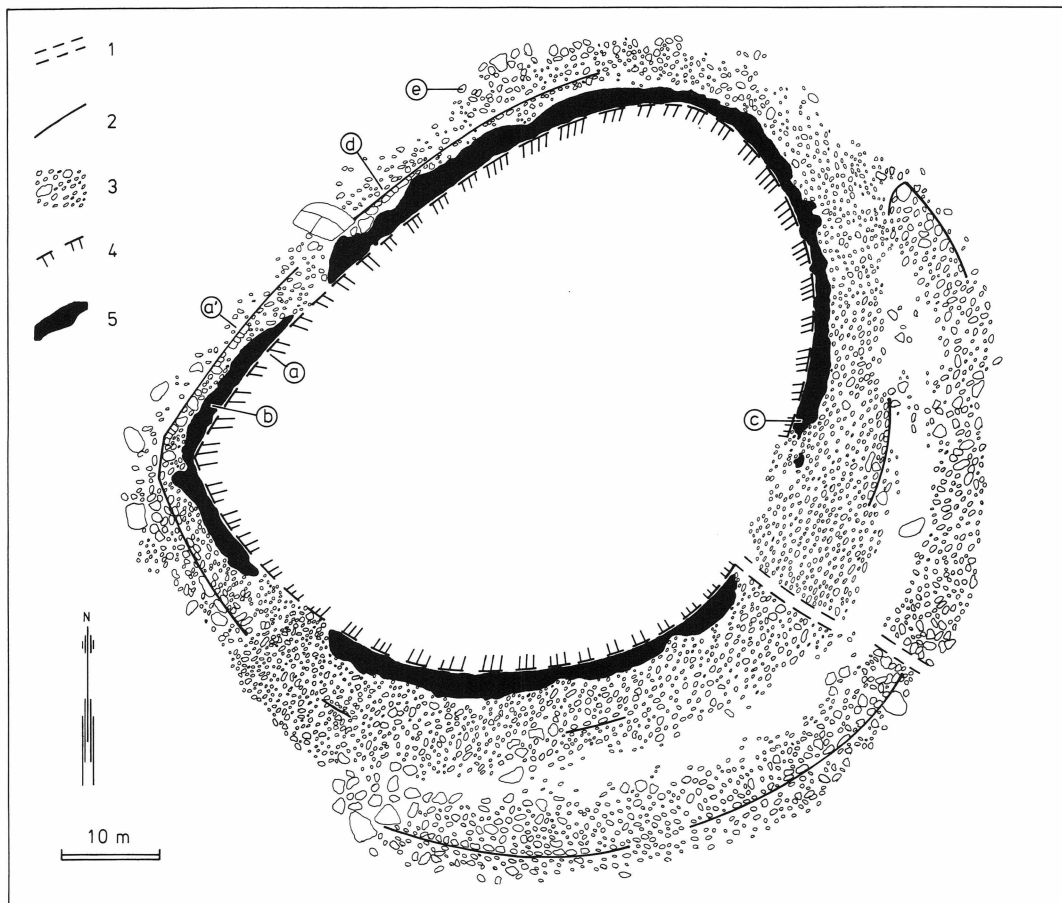
biliteten uttrycks oftast i SI-enheter och den är logaritmisk fördelad. En procent magnetit i bergarten motsvarar cirka 3000×10^{-5} SI-enheter, medan mät-noggrannheten ofta är bättre än 5×10^{-5} SI-enheter.

Gnejsgraniten innehåller mindre än 1% magnetit (Figur 6), vilken vid upphettning helt eller delvis oxideras till hämatit. Hämatit är mycket mindre magnetisk än magnetit. Susceptibiliteten för ren (100%) hämatit motsvarar endast omkring 1000×10^{-5} SI-enheter. För den skull minskar gnejsgranitens susceptibilitet vid upphettning (Figur 6).

Amfiboliten innehåller primärt ingen



Figur 6. Histogram över magnetiska susceptibiliteter av block från inre vallen. H = intervall för 100% hämatit, M = intervall för 1% magnetit. Upphettning resulterar i minskad susceptibilitet för gnejsgraniten (oxidation av magnetit till hämatit) och ökad susceptibilitet för amfiboliten (bildning av magnetit).

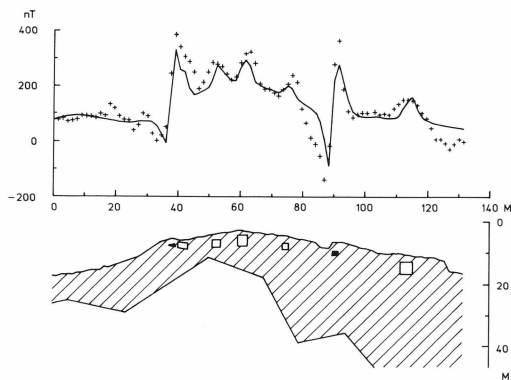


Figur 7. Magnetiska totalfältet vid Broborg, samma område som i Figur 1. Mätpunkter markerade som punkter, konturintervall är 100 nT (nanotesla). Förglasade partier kännetecknas av kraftigt förhöjd magnetism (rasterade områden).

eller mycket lite magnetit, se Figur 6. Vid kraftig upphettning smälter amfiboliten vilket resulterar i glas, magnetit samt vatten. Nybildningen av magnetit leder till en dramatisk ökning av susceptibiliteten (Figur 6). Totalt ökar suscep-

tibiliteten för de förglasade partierna av vallen, vilket innebär att det jordmagnetiska totalfältet ökar ovanför dessa.

Totalfältets värde kan med mycket stor noggrannhet bestämmas med en protonmagnetometer. Normalvärdet



Figur 8. Magnetometerprofil över Broborg från nordväst (vänster) till sydost (höger) samt geofysisk tolkning av profilen. Enskilda mätvärden ges som kryss, tolkningen som heldragen kurva (båda givna i avvikelser från normalfältet = 50 800 nT). Nedre delen visar tolkningen av ett vertikalsnitt genom kullen: gnejsgranitkärna täckt av morän (snedstreckat) med gnejsgranitblock samt de förglasade vallarna (svarta).

vid borgen är ungefär 50800 nanotesla (nT). Magnetometers mätnoggrannhet är inom en nanotesla. Detta innebär att mycket små förändringar i fördelningen av de magnetiska mineralen går att spåra. Figur 7 visar det jordmagnetiska totalfältet vid Broborg. De högsta värdena är knutna till de förglasade partierna och kan tolkas som ett tecken på relativt tjock smälta vid de maximala värdena.

Med dessa ingångsdata, totalfält och susceptibilitet för de ingående bergarterna, samt med vissa antaganden om den så kallade remanensen (en slags "fastfrusen" magnetisering som ej kan mätas med hållsusceptibilitetsmätaren) kan man kvalitativt beräkna hur mycket

smälta som dessa uppmätta totalfältsanomalier motsvarar.

De geofysiska modellberäkningarna visar att smältan i vallen på vissa delar kan vara över metern tjock. Antaganden om hur mycket smälta det finns jämfört med inslaget av spräckt oxiderad gnejsgranit ger olika genomsnittlig susceptibilitet och därmed smärre variationer på den beräknade tjockleken på den förglasade vallen. Modellberäkningarna återgivna i Figur 8 visar även att moränkullen har en gnejsgranitkärna samt att ansamlingar av yt nära gnejsgranitblock motsvaras av små magnetiska förhöjningar inom och kring borgen.

Arkeologiska undersökningar

En begränsad utgrävning av Broborg utfördes för cirka tio år sedan av Lars Lövstrand under medverkan av medlemmar ur Husby-Långhundras hembygdsförening. Grävningarna var koncentrerade till borgens inre och resulterade i ett antal fynd. Ett provsnitt genom den förglasade vallen (vid a-a', Figur 1) visade klart att amfiboliten var ursprunget till den blårika smältan (Figur 3). Förglasningen uppträdde i ett omkring 30 cm tjockt lager på toppen av vallen, underlagrad av skörbränd gnejsgranit samt ett mindre förglasat skikt på cirka 80 cm djup. Smältan innehåller ofta träkolsavtryck, 2–3 cm tjocka och 3–4 cm långa. Ibland förekommer många sådana i större hålrum vilket kan tyda på horisontella skikt med träkol.



Figur 9. Förglasad vall (från b till a-a' i Figur 1) med cirka 1 m breda och 2 m långa boxar, uppenbarligen en konstruktiv detalj.

Det inre murlivet består av stora gnejsgranitblock, fyllda och täckta med grus och jord.

Inspektion av den förglasade vällen visar att den skörbrända gnejsgraniten nedanför det förglasade toppskiktet ofta verkar ha rasat samman så att förglasningen bildar ett slags valv ovanför ett tomrum. Inom de avtorvade delarna av vällen framträder rektangulära boxar, omkring en gång två meter, vilka uppenbarligen är konstruktionsdetaljer (Figur 9). Dessa boxar uppträder till sy-

nes endast inom de förglasade områdena av den inre vällen. Behovet av en arkeologisk grävning med inriktning på den förglasade vällen är uppenbart.

Det förglasade materialet

Undersökningar av det förglasade materialet i polerade tunnslip visar hela processen från begynnande till fullständig smältning av amfiboliten. Ingående komponenter är mörkt glas, stundom med droppar av klart genomskinligt glas,

olivin, pyroxen, magnetit och ilmenit. Ibland förekommer droppar av svavelkis samt metalliskt järn vilka båda indikerar reducerande betingelser. Fördelningen av järn mellan olivin och glas under jämviktsbetingelser är beroende av temperaturen. Proverna från Broborg visar jämviktstemperaturer i intervallet 1017–1078°C, medan smältpunktsbestämningar på glaset varierar mellan 1076°C (i kvävgas) och 1165°C (i luft).

Ett smältningsförsök med gnejsgranit och amfibolit från Broborg och träkol i en liten öppen ugn resulterade endast i skörbränning, även när bläster användes. Smältning av amfiboliten kunde endast åstadkommas genom användning av bläster i en täckt härd. Detta visar vattnets betydelse för smältprocessen: i en öppen härd drivs vattnet av och smältning kommer inte till stånd. Det krävs att den överkritiska vattenångan hålls kvar i ett slutet utrymme för att smältningprocessen skall kunna starta och fortskrida.

Hur bildades Broborgs förglasade vallar?

Undersökningen har visat att förglasningen i huvudsak är ett resultat av amfibolitens smältning. Denna process har krävt temperaturer säkert överstigande 1000°C, sannolikt överstigande 1100°C. Processen har vidare krävt ett slutet utrymme, samt tillämpning av bläster eller motsvarande stark vind. Träkol torde ha tjänat som bränsle.

Grimsasagan berättar att Broborg sattes i brand och brann hela natten, således en destruktiv bränning. En sådan tillblivelse av de förglasade vallarna kan dock inte förklara en del av observationerna. Varför skulle man placerat amfiboliten, som är en förutsättning för smältprocessen, vid inre vallens inre murliv om inte förglasningen varit en åsyftad process? En palissad som kan ha tillhandahållit för processen nödvändig bränsle skulle givetvis inte stått halvvägs till två tredjedelar in i vallen, ej heller varit placerad längs inre murlivet. I båda dessa fallen skulle det inte röra sig som en försvarsanläggning utan en inhägnad. En fornborgs palissad bör ha stått längs yttre murlivet, men där saknas förglasningen helt på Broborg.

Att förglasningen förekommer i stort sett runtom är svårt att förklara genom en destruktion. Borgens ingång är en svag punkt som i orostider spärrades t ex med träkonstruktioner, sålunda ett givet ställe för eventuell eldsvåda. Förglasning eller ens skörbränning saknas vid själva ingången på Broborg.

Det behövliga slutna utrymmet kan ha utgjorts av det släntade inre murlivet samt en täckning av toppen på vallen. Detta innebär att blästern eller draget måste kommit utifrån. Däremot kan man utsluta att en större träbebyggelse inne i borgen brunnit ner och skapat en skorstenseffekt, eftersom det släntade inre murlivet skulle förhindrat drag genom vallen. Den förglasade vallen kan uppfattas som ett analog till en metal-

lurgisk ugn, som även den använder bläster i ett slutet utrymme. Den huvudsakliga skillnaden är att man använde bokad amfibolit istället för bokad malm.

Förglasningen av i stort sett hela vällen kan knappast tillkommit i ett enda moment, utan torde ha skett i etapper som kan motsvara de boxliknande konstruktionerna av cirka två meters längd, en meters bredd och en meters höjd. Är hypotesen riktig innebär det att de förglasade partierna konstruerades först, varefter vällen byggdes fullt ut till det yttre livet genom kallmurning. Det skulle förklara de förglasade partiernas relativt konstanta bredd, i motsats till variationen i bredden hos kallmuren.

Det är självklart att en grävning, gärna som ett samarbete arkeolog – geolog – geofysiker skulle kunna ge svar på vissa obesvarade frågor samt ytterligare

belysa de ovan framförda hypoteserna. Man hoppas att ett sådant samarbete kan komma till stånd inom en snar framtid.

Litteratur

- Childe, V.G. och Thorneycroft, W., 1937. The experimental production of the phenomena of vitrified forts. – *Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland* 72, s. 44–55.
- Kresten, P., Kero, L. och Chyssler, J., 1992. Geology of a vitrified hill-fort: Broborg, Uppland, Sweden. – *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* (manuskript antagen till tryckning)
- Löfstrand, L., 1983. Tusen och en borg. – *Upplandsmuseet, Rapport* 6, s. 10–12.
- Mejdahl, V., 1983. Feldspar inclusion dating of ceramics and burnt stones. – *PACT Journal* 9, II, s. 351–364.
- Pennant, T., 1771. *A Tour in Scotland*. 1769. – John Monk, Chester. 316 s.